

УДК 536.526.2;389.6

ЗМЕНШЕННЯ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ ВІЗУАЛЬНИМИ ПІРОМЕТРАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

© Гриневич Б. Ю., Засименко В. М., Столярчук П. Г., 2000
Національний університет "Львівська політехніка"

Проаналізовано візуальний метод контролю за температурою з використанням візуальних пірометрів у видимій та ближній до інфрачервоної областей спектра. На основі використання уточнених коефіцієнтів закону Планка проведені розрахунки ефективних довжин хвиль з врахуванням розкидів фільтрів та кривої видимості в діапазоні вимірювання 400-6000°C для візуальних пірометрів випромінювання. Приведені похибки апостеорних поправок на випромінювальну здатність, викликаних розкидами ефективних довжин хвиль. Зроблений висновок доцільності апріорного введення вказаних поправок для візуальних пірометрів.

У відомих візуальних пірометрах випромінювання, що використовують суб'єктивний (за допомогою ока) принцип порівняння яскравості випромінювання об'єкта вимірювання з яскравістю нитки пірометричної лампи розжарювання, поправка на випромінювальну здатність вноситься після операції фотометрування. Виміряна при цьому умовна яскравісна температура $T_{\text{я}}$ дорівнює дійсній температурі T тільки для абсолютно чорних тіл. Перехід до дійсної температури для реальних об'єктів проводиться, як правило, апостеорно без врахування похибки апроксимації шляхом вирішення трансцендентного рівняння:

$$\frac{1}{T} \approx \frac{1}{T_{\text{я}}} + \frac{\lambda_{\text{эф}}(T)}{C_2} \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T), \quad (1)$$

де $\lambda_{\text{эф}}(T)$ - ефективна довжина хвилі, як функція від вимірюваної температури; C_2 - друга світлова постійна закону Планка; $\varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T)$ - випромінювальна здатність, як функція від ефективної довжини хвилі і від вимірюваної температури.

Тому апостеорна поправка на випромінювальну здатність, що вводиться після вимірювання температури, є наближеною. Це впливає з формули (1), тобто:

$$\Delta T = T - T_{\text{я}} \approx - \frac{T^2 \cdot \lambda_{\text{эф}}(T)}{C_2} \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T) / \quad (2)$$

Зазначені рівняння справедливі тільки в області Віна, коли номінальна статична характеристика (НСХ) апроксимується законом Віна.

Будемо вважати, що основним джерелом похибки на поправку ΔT згідно виразу (2) є зміна ефек-

тивної довжини хвилі у вибраному піддіапазоні температур конкретного типу візуального пірометра, оскільки для кожного з і-того діапазонів (від нижнього $T_{\text{нi}}$ до верхнього $T_{\text{вi}}$) вона може бути вибрана як середня.

Отримана залежність $\lambda_{\text{эф}} = f(T)$ (при уточнених коефіцієнтах C_1 і C_2 для розкидів коефіцієнтів пропускання червоних фільтрів $\tau(\lambda)$ за типами, товщиною і температурним впливом та розкидів кривої видимості ока $V(\lambda)$) порівнювалась з відомими літературними даними, що приведено на рис. 1.

У зв'язку з цим похибка вимірювання для візуальних пірометрів визначається:

похибкою апроксимації НСХ;

розкидом ефективної довжини хвилі, у тому числі розкидами світлофільтрів і кривої видимості ока;

недостовірними даними про випромінювальну здатність при використуванні ефективній довжині хвилі;

допустимою похибкою коефіцієнта C_2 .

Аналіз похибок апостеорної поправки $\Delta(\Delta T)$ на випромінювальну здатність проводився при уточнених коефіцієнтах C_1 і C_2 згідно закону Планка за формулою:

$$\Delta(\Delta T) = \frac{T^2 \cdot \Delta \lambda_{\text{эф}}(T)}{C_2} \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T), \quad (3)$$

де $\Delta \lambda_{\text{эф}}(T)$ - зміна ефективної довжини хвилі від температури.

Вказану похибку іноді вважають поправкою апроксимації, оскільки вона впливає з характеру

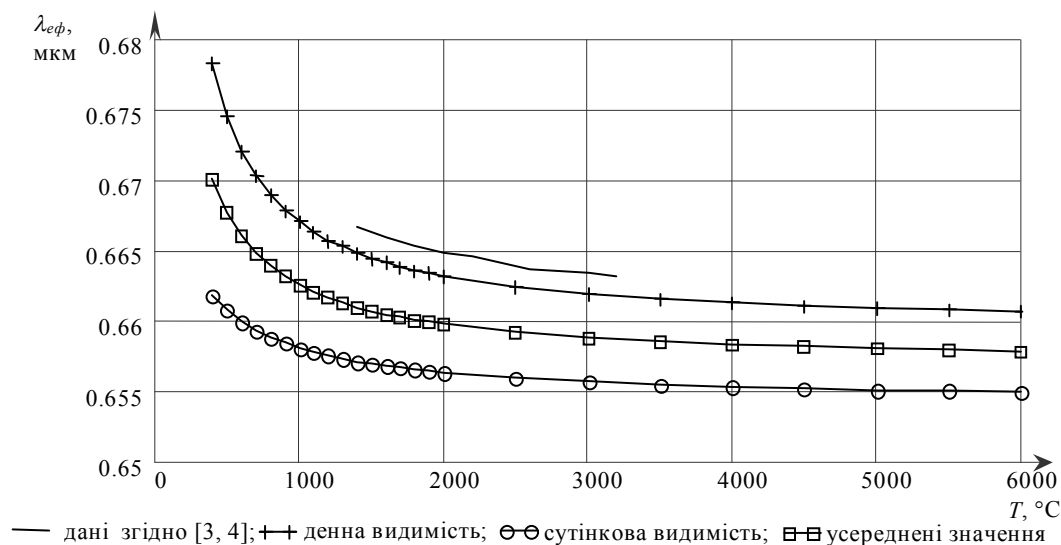


Рис. 1. Залежність ефективної довжини хвилі від температури (при використанні світлофільтра КС-15 завтовшки 5 мм, $C_2=1,4387869$) із врахуванням $V(\lambda)$ - денної видимості і $V'(\lambda)$ - сутінкової видимості.

апроксимації НСХ [1, 3]. Оцінюючи впливаючі фактори на ефективну довжину хвилі та її розкид для вибраного піддіапазону вимірювальних температур в загальному випадку з виразу (3) впливає функціональна залежність похибки введення поправки:

$$\Delta(\Delta T) = f \left[T, T_{ni}, T_{vi}, \overline{\lambda_{eff}}, \Delta \lambda_{eff}, \Delta C_2, \varepsilon(\overline{\lambda_{eff}}, T), \tau(\lambda, d), V(\lambda, t) \right], \quad (4)$$

де $\overline{\lambda_{eff}}$ - середнє значення ефективної довжини хвилі, ΔC_2 - похибка використання постійної C_2 .

Окремі функціональні залежності виразу (4) для різних випромінювальних здатностей приведені

на рис. 2.

Для прецизійних пірометрів, в тому числі для еталонних візуальних пірометрів та зразкових першого порядку типу ЭОП - 66 з метою мінімізації поправки введення поправки важливе значення має правильність використання коефіцієнта C_2 . Абсолютне значення цієї додаткової похибки визначалось за формулою:

$$\Delta_g(\Delta T) \approx -\frac{T^2 \cdot \Delta \lambda_{eff}}{\overline{\lambda_{eff}}^2} \cdot \Delta C_2 \cdot \ln \varepsilon(\overline{\lambda_{eff}}, T). \quad (5)$$

Результати розрахунку приведені на рис. 3.

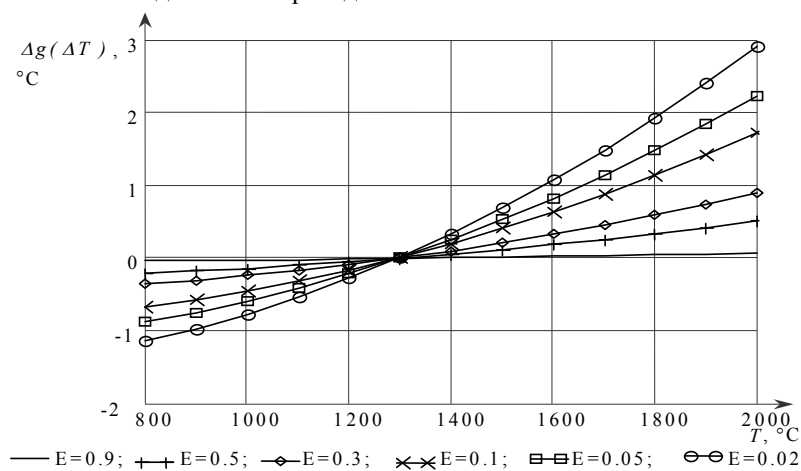


Рис. 2. Залежність похибки введення поправки від вимірювальної температури при різних випромінювальних здатностях об'єкта для промислових пірометрів ($T_n=800$ °C; $T_b=2000$ °C; $\overline{\lambda_{eff}}=0,66663$ мкм; $C_2=1,4387869$ см·K).

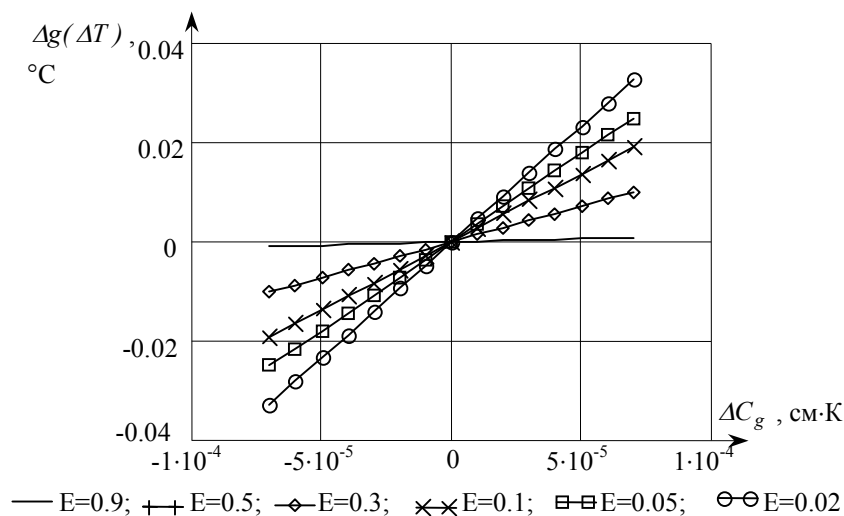


Рис. 3. Залежність похибки введення поправки від похибки коефіцієнта C_2 при різних випромінювальних здатностях об'єкта для пірометра ЭОП - 66 ($T_n=900^\circ\text{C}$; $T_s=1400^\circ\text{C}$; $T=900^\circ\text{C}$; $\lambda_{\text{эф}} = 0,65 \text{ мкм}$; $C_2 = 1,4387869 \text{ см} \cdot ^\circ\text{K}$).

З метою усунення зазначених похибок, приведених на рис. 2 і рис. 3, пропонується нове схемне рішення, що передбачає априорне введення мультиплікативної поправки на випромінювальну здатність для візуальних пірометрів випромінювання. Суть цього рішення полягає в тому, що поправка на випромінювальну здатність вводиться перед операцією фотометрування. Таким чином, вираз (2) матиме вигляд:

$$\Delta T = T - T_a \approx - \frac{T^2 \cdot \lambda_{\text{эф}}(T)}{C_2} \cdot \ln[k(T) \cdot \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T)] \quad (6)$$

де $k(T)$ - мультиплікативна поправка НСХ на випромінювальну здатність.

Якщо перед вимірюванням витримувати вимогу, що

$$k(T) \cdot \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T) \approx 1, \quad (7)$$

то значення поправки наблизатиметься до нуля, не зважаючи на зміну ефективної довжини хвилі від

вимірюваної температури, конструктивних, апаратних і технологічних особливостей та ряду об'єктивних і суб'єктивних факторів.

Різноманітність введення мультиплікативної поправки НСХ на випромінювальну здатність при дотримванні вимоги (7) підтверджене практичною реалізацією для ряду візуальних пірометрів.

1. Засименко В. М. Анализ погрешностей передаточной функции пирометрического преобразователя в прямой цепи излучения // Контрольно-измерительная техника. - Львов: Вища школа. - 1983. - № 33. - С. 9-13. 2. Свет Д. Я. Оптические методы измерения истинных температур. - М.: Наука, 1982. - 296 с. 3. Свет Д. Я. Объективные методы высокотемпературной пирометрии при непрерывном спектре излучения. - М.: Наука, 1968. - 237 с. 4. Рибо Г. Оптическая пирометрия. - М.: Гостехиздат, 1934. - 455 с.